

DERWENT-ACC-NO: 1995-058052

DERWENT-WEEK: 200281

COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Plasma processing with modulated  
high-frequency power -  
comprising modulating output waveform  
from oscillator to  
prevent surplus incoming ion

INVENTOR: ARAI, I; FUKASAWA, K ; HOSODA, S ; IIMURO, S ;  
MITANO, Y ; MIURA, Y  
; NISHIKAWA, H ; TAHARA, Y

PATENT-ASSIGNEE: TOKYO ELECTRON LTD [TKEL] , TOKYO  
ELECTRON YAMANASHI  
LTD [TKEL]

PRIORITY-DATA: 1993JP-0098445 (March 31, 1993) ,  
1993JP-0140031 (May 19, 1993)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PAGES	PUB-DATE	
LANGUAGE		MAIN-IPC	
JP 06338476 A		December 6, 1994	N/A
012	H01L	021/302	
US 6110287 A		August 29, 2000	N/A
000	C23C	016/00	
KR 324792 B		June 20, 2002	N/A
000	H01L	021/302	

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO
APPL-DATE		
JP 06338476A	N/A	
1993JP-0346196	December 22, 1993	
US 6110287A	Cont of	
1994US-0220683	March 31, 1994	
US 6110287A	N/A	
1997US-0843129	April 28, 1997	
KR 324792B	N/A	
1994KR-0006705	March 31, 1994	
KR 324792B	Previous Publ.	KR 94022726

N/A

INT-CL (IPC): C23C016/00, C23F004/00 , H01L021/302

RELATED-ACC-NO: 1995-055557

ABSTRACTED-PUB-NO: JP 06338476A

BASIC-ABSTRACT:

A frequency is modulated by synthesising the output waveform from an oscillator (G1) which produces the basic wave and oscillators (G2 to Gn) which produces the wave of integral number times the basic wave and by using variable attenuators (A1 to An) meeting the oscillators (G2 to Gn), to prevent the surplus incoming ion by controlling the progress of plasma dissociation.

USE - For upgraded etching and prevention of the charge-up of semiconductor wafers.

ABSTRACTED-PUB-NO: US 6110287A

EQUIVALENT-ABSTRACTS:

A frequency is modulated by synthesising the output waveform from an oscillator (G1) which produces the basic wave and oscillators (G2 to Gn) which produces the wave of integral number times the basic wave and by using variable attenuators (A1 to An) meeting the oscillators (G2 to Gn), to prevent the surplus incoming ion by controlling the progress of plasma dissociation.

USE - For upgraded etching and prevention of the charge-up of semiconductor wafers.

CHOSEN-DRAWING: Dwg.1/16

TITLE-TERMS: PLASMA PROCESS MODULATE HIGH FREQUENCY POWER

COMPRISE MODULATE

OUTPUT WAVEFORM OSCILLATOR PREVENT SURPLUS  
INCOMING ION

DERWENT-CLASS: L03 U11 V05 X14

CPI-CODES: L04-C07D;

EPI-CODES: U11-C07A1; U11-C09C; V05-F05C3A; V05-F05E5;  
V05-F08E1;

SECONDARY-ACC-NO:

CPI Secondary Accession Numbers: C1995-026308

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N1995-045928

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-338476

(43) 公開日 平成6年(1994)12月6日

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/302	C			
	A			
C 2 3 F 4/00	A	8414-4K		
	G	8414-4K		

審査請求 未請求 請求項の数 7 F D (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平5-346196

(22) 出願日 平成5年(1993)12月22日

(31) 優先権主張番号 特願平5-98445

(32) 優先日 平5(1993)3月31日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂5丁目3番6号

(72) 発明者 新井 泉

東京都新宿区西新宿2丁目3番1号 東京エレクトロン株式会社内

(72) 発明者 西川 浩

東京都新宿区西新宿2丁目3番1号 東京エレクトロン株式会社内

(72) 発明者 田原 好文

東京都新宿区西新宿2丁目3番1号 東京エレクトロン株式会社内

(74) 代理人 弁理士 金本 哲男 (外1名)

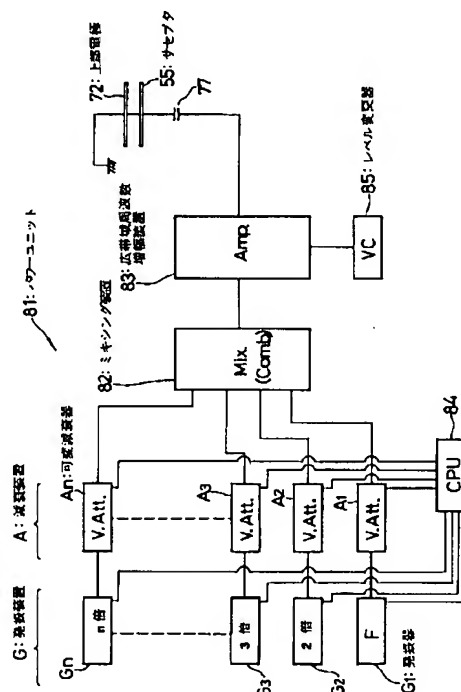
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理方法

(57) 【要約】

【目的】 処理室内のプラズマ雰囲気下で半導体ウエハに対してエッチング処理を施す場合に、半導体ウエハのチャージアップを防止するとともに、エッチングレートを向上させる。

【構成】 基本波を発生する発振器G<sub>1</sub>と、その周波数の整数倍波を発生する発振器G<sub>2</sub>~G<sub>n</sub>と、さらに各発振器G<sub>1</sub>~G<sub>n</sub>に対応する可変減衰器A<sub>1</sub>~A<sub>n</sub>を用いて、これらの出力波形を合成させて周波数変調を行い、下部電極であるサセプタ55に印加させる。出力波形によって、プラズマ解離段階の進行を制御して過剰な入射イオンの生成を防止し、さらに入射イオンの加速の制御も行える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 高周波電力によって処理室内にプラズマを発生させ、当該処理室内の被処理体に対して前記プラズマ雰囲気の下で処理を施す方法において、前記高周波電力に低周波電力による周波数変調を加えたことを特徴とする、プラズマ処理方法。

【請求項2】 高周波電力によって処理室内にプラズマを発生させ、当該処理室内の被処理体に対して前記プラズマ雰囲気の下で処理を施す方法において、前記高周波電力に低周波電力による振幅変調を加えたことを特徴とする、プラズマ処理方法。

【請求項3】 電流方向が経時変化する電力を用いて処理室内にプラズマを発生させ、当該処理室内の被処理体に対して前記プラズマ雰囲気の下で処理を施す方法において、基本周波数を有する電力に、当該基本周波数の $n$ 倍( $n$ =整数)の周波数によって周波数変調を加えることを特徴とする、プラズマ処理方法。

【請求項4】 電流方向が経時変化する電力を用いて処理室内にプラズマを発生させ、当該処理室内の被処理体に対して前記プラズマ雰囲気の下で処理を施す方法において、基本周波数を有する電力に、当該基本周波数の $n$ 倍( $n$ =整数)でかつ相互に異なった複数の周波数によって周波数変調を加えることを特徴とする、プラズマ処理方法。

【請求項5】 処理室内に導入された処理ガスが、発生したプラズマによって最終段階の解離を起こさないように、前記周波数変調を制御することを特徴とする、請求項3又は4に記載のプラズマ処理方法。

【請求項6】 高周波電力によって処理室内にプラズマを発生させ、当該処理室内の被処理体に対して前記プラズマ雰囲気の下で処理を施す方法において、周波数信号を周期単位に分割して、周波数変調を加えることを特徴とする、プラズマ処理方法。

【請求項7】 高周波電力によって処理室内にプラズマを発生させ、当該処理室内の被処理体に対して前記プラズマ雰囲気の下で処理を施す方法において、前記高周波電力に対して振幅変調を加え、その結果得られた搬送波形における立ち上がり部と立ち下がり部の時間がいずれも $10\mu\text{sec}$ 、以下となるようにしたことを特徴とする、プラズマ処理方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、プラズマ処理方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来から、例えばマグネトロンR I E装置においては、気密に構成された処理室内に高周波電力の印加によるプラズマを発生させ、このプラズマ雰囲気中で当該処理室内の被処理体、例えば半導体ウエハなどに対してエッチング処理を施す場合、プラズマ密度を高

めてエッチングレートを向上させるため、その多くは例えば周波数が13.56MHzの高周波電力を、交流電源によって印加するようにしていた。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところが、そのように単一の周波数の高周波電力を印加していると、例えば上記マグネトロンR I E装置においては、上記半導体ウエハの表面に、移動度の高い電子によって偏った帯電が発生して電位の傾斜が生じ、その結果チャージアップによるデバイス破壊につながるおそれがあった。

【0004】そこでそのようなチャージアップを防止するための何らかの手段が必要となってくるが、その際留意しなければならないのは、エッチングレートを低下させずに当該チャージアップを防止しなければならないということである。

【0005】本発明はそのような問題点に鑑みてなされたものであり、プラズマ密度を低下させずに上記のようなチャージアップを防止する新しいプラズマ処理方法を提供することを第1の目的とする。

【0006】ところで例えば前記したようなマグネトロンR I E装置やE C Rプラズマ装置など、高密度のプラズマを利用したプラズマ処理装置において、前述の如く単一の周波数の高周波電力を印加していると、さらに別な問題が生ずる。例えば被処理体である半導体ウエハに対して、処理ガスとして $\text{CF}_4$ ガスを用いて、基板のSiに対する酸化膜のエッチングを行う場合、前記した高密度プラズマではプラズマに吸収されるエネルギーが高いため、ガス分子の解離が大きく進んでしまい、 $\text{CF}_4$ の場合では最終段階の解離まで進んでしまって、ラジカル成分はそのほとんどが $\text{F}^{\bullet}$ (フッ素ラジカル)となってしまう。

【0007】そのため、保護ポリマーのエッチング耐性が大幅に低下してしまい、その結果選択比が低下してしまうという問題があった。また最終段階の解離まで進んでしまうと、多量のCが発生してしまい、それがウエハ表面にデポジションしてエッチング自体が停止させられてしまうという問題も生じていた。そして単一の正弦波形を有する交流高周波電力では、そのような解離の制御は難しい。

【0008】本発明は、このような点にも鑑みてなされたものであり、例えば高周波電力によって処理室内にプラズマを発生させ、当該処理室内の被処理体に対して前記プラズマ雰囲気の下で処理を施す方法において、前記高周波電力に対して、変調を加えることにより、例えばエッチングなどにおける選択比を向上させることを第2の目的とするものである。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】叙上の如く、半導体ウエハなどの被処理体に発生するチャージアップは、高周波電力の印加によって、移動度の高い電子のみが移動して

帯電することに原因がある。そこで発明者らは、そのように帯電する電子を処理室内のイオンによって中和させることとし、そのようなイオンを被処理体上まで移動させるため、低周波電力を印加させるという手法を採った。

【0010】但し、高周波電力に代えて単に低周波電力を印加するだけでは、プラズマ密度が低下してエッチングレートも低下してしまい、実用上問題がある。したがって本発明では、エッチングレートを低下させないように、高周波電力に対して部分的に低周波電力による変調を加えて上記問題の解決を図るものである。

【0011】具体的な構成についていうと、請求項1においては、高周波電力によって処理室内にプラズマを発生させ、当該処理室内の被処理体に対して処理を施す方法において、前記高周波電力に低周波電力による周波数変調を加えたことを特徴とする、プラズマ処理方法を提供する。この場合、請求項2に記載したように振幅変調によって低周波電力を加えるようにしてもよい。

【0012】なお本発明において高周波電力とは、プラズマの解離効率のよい周波数が10MHz以上のものをいい、また低周波電力は便宜上、周波数が当該10MHzを超えないものをいうが、前記請求項1、2における変調によって加えられる低周波電力の周波数は、3MHz以下、とりわけその中でも、2MHz以下のものが好ましい。

【0013】また前記した第2の目的達成のため、請求項3によれば、電流方向が経時変化する電力を用いて処理室内にプラズマを発生させ、当該処理室内の被処理体に対して前記プラズマ雰囲気の下で処理を施す方法において、基本周波数を有する電力に、当該基本周波数の $n$ 倍( $n$ =整数)の周波数によって周波数変調を加えることを特徴とする、プラズマ処理方法が提供される。

【0014】さらに請求項4によれば、電流方向が経時変化する電力を用いて処理室内にプラズマを発生させ、当該処理室内の被処理体に対して前記プラズマ雰囲気の下で処理を施す方法において、基本周波数を有する電力に、当該基本周波数の $n$ 倍( $n$ =整数)でかつ相互に異なった複数の周波数によって、周波数変調を加えることを特徴とする、プラズマ処理方法が提供される。

【0015】これらの各プラズマ処理方法において、請求項5に記載したように、前記処理室内に導入された反応ガスが、発生したプラズマによって最終段階の解離を起こさないように、前記周波数変調を制御するように構成してもよい。

【0016】さらに請求項6では、高周波電力によって処理室内にプラズマを発生させ、当該処理室内の被処理体に対して前記プラズマ雰囲気の下で処理を施す方法において、周波数信号を周期単位に分割して、周波数変調を加えることを特徴とする、プラズマ処理方法が提供される。

【0017】また請求項7によれば、高周波電力によって処理室内にプラズマを発生させ、当該処理室内の被処理体に対して前記プラズマ雰囲気の下で処理を施す方法において、前記高周波電力に対して振幅変調を加え、その結果得られたエンベロープと呼ばれる、変調された波形の頂点を結んで得られた搬送波形の立ち上がり部と立ち下がり部の時間がそれぞれ10 $\mu$ sec.(秒)以下となるようにしたことを特徴とする、プラズマ処理方法が提供される。

【0018】

【作用】プラズマ中のイオンと電子の移動は交流電界の変化に伴って行われている。したがって質量の大きいイオンが追従可能な低周波電力を、プラズマの解離効率のよい高周波電力に部分的に加えて変調させれば、プラズマ密度を低下させることなく、イオンの移動によってウエハなどの被処理体上のチャージをキャンセル(中和)できる。

【0019】請求項1に記載した周波数変調の場合には、時間によって高周波電力と低周波電力による作用が独立して得られ、例えば高周波電力が印加されている間はエッチングが促進され、低周波電力による変調が加えられたときには、それまでに発生していた解離状態を消滅させることなく、イオンが移動して被処理体上の電子と中和し、その結果チャージがキャンセルされる。

【0020】一方請求項2に記載した振幅変調の場合には、高周波電力と低周波電力が重なった状態で印加されるが、変調を加える前のプラズマ状態をそのまま維持しつつ、同時に低周波による上記の中和作用が得られる。

【0021】また請求項1、2において夫々前記のような変調を加えるタイミングは、被処理体に発生するチャージアップ電圧の値に基づいて判断すればよい。

【0022】ところで、発生したプラズマ中のイオンの運動、とりわけエッチングなどの処理に直接影響する被処理体への入射は、エネルギー源である電気信号の波形によってその態様が異なっている。例えば従前の正弦波によれば、加速度が一定ではなく、そのため既述の如く、処理室内に導入された処理ガス分子の解離段階の制御は難しい。

【0023】この点、例えば所定間隔において一定時間、一定の出力が得られるパルス波はその波形における平坦部では解離が進まないで、例えばパルス幅を調節することによって解離段階を調節することが可能であり、また立ち下がり部の傾斜が一定な、ソウトゥース波(鋸歯状波)やトライアングル波(三角波)、ラム波(傾斜波)は加速度が一定であるため、エッチャントイオンのイオンボンバードメント(イオン衝撃)を大きくすることができ、結果的にエッチングレートを向上させることが可能である。

【0024】かかるような背景の下、請求項3によれば、電流方向が経時変化する電力を用いて処理室内にプ

5

ラズマを発生させ、当該処理室内の被処理体に対して前記プラズマ雰囲気の下で処理を施す方法において、例えば380kHzを始めとする任意の基本周波数を有する電力に、当該基本周波数の $n$ 倍( $n$ =自然数)の周波数によって周波数変調を加えるので、単なる単一の正弦波とは異なった波形を有するプラズマ発生用の電力を得ることができる。従って、当該波形に基づいてエッチャントイオンのイオンボンバードを制御することが可能となる。

【0025】この点請求項4によれば、前記基本周波数の $n$ 倍( $n$ =整数)を有し、かつ相互に異なった複数の周波数によって周波数変調を加えるので、前記したパルス波を始めとして、ソウトゥース波(鋸歯状波)やトライアングル波(三角波)、ラム波(傾斜波)を容易に創出させることができる。

【0026】また請求項5では、これら請求項3、4のプラズマ処理方法において、より具体的に処理室内に導入された反応ガスが最終段階の解離を起こさないように、周波数変調の制御を行うようにしたので、過剰なエッチャントイオンを生成することではなく、選択比を向上させることができる。

【0027】さらに請求項6では、周波数信号を周期単位に分割して、周波数変調を加えるようにしているので、周波数の高い部分で処理室内に導入された処理ガス分子の解離を促進させたり、あるいは周波数の低い部分でイオンボンバードメントを大きくすることができることになる。しかもかかる場合、周波数信号を周期単位、例えば半周期、1周期、数周期ないしは数周期毎に分割して周波数変調を加えるので、精緻な、精度の高い制御が可能となる。

【0028】また請求項7によれば、高周波電力に対して振幅変調を加え、その結果得られたエンベロープにおける立ち上がり部と立ち下がり部の時間が $10\mu\text{sec}$ 。(秒)以下となるよう構成されているので、例えばエッチング処理において、エッチング反応に直接関わるガス分子の解離反応時間よりも短く、これらの部分で前記ガス分子の解離を進めることはない。従って、これら立ち上がり部と立ち下がり部を除いた残りの部分によって解離の制御を行うことができるので、制御しやすいものとなっている。

【0029】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面に基づいて説明すると、図1は第1の実施例を実施する場合に使用したマグネトロンR I E装置1の構成を模式的に示しており、このマグネトロンR I E装置1は、アルミ等の材質で構成され電氣的に接地された気密容器である処理室2を有している。

【0030】前記処理室2内の底部に設けられた排気口3には、真空ポンプなどの排気手段4に通ずる排気管5が接続されており、この排気手段4によって前記処理室

6

2内はその底部周辺部から均等に真空引きして、所定の減圧雰囲気、例えば数mTorr~数十Torrの範囲の間の任意の値に、設定維持が可能ないように構成されている。

【0031】前記処理室2内の底部中央には、セラミック等の絶縁板6を介してサセプタ支持台7が設けられ、さらにこのサセプタ支持台7の上面には、アルミ等の材質からなり下部電極を構成するサセプタ8が設けられている。前記サセプタ支持台7の内部には冷媒室9が形成されており、この冷媒室9内には、上記処理室2の底部に設けられた冷媒導入管10から導入されかつ冷媒排出管11から排出される温調冷媒が循環するように構成され、上記サセプタ8を所望の温度に制御するようになっている。

【0032】上記処理室2の外部には、高周波電源21と低周波電源22が設けられている。この高周波電源21は、例えば13.56MHzなど周波数が10MHz以上の高周波電力を出力するように構成されており、また一方上記低周波電源22は、例えば2MHzなど、周波数が100kHz~3MHzの相対的に低周波の電力を出力するように構成されている。そして上記各高周波電源21と低周波電源22からの電力は、一旦変調装置23に入力され、この変調装置23の作動によって周波数変調自在となるように構成され、その後ブロッキングコンデンサ24を介して上記サセプタ8に印加されるように構成されている。

【0033】上記各高周波電源21、低周波電源22並びに変調装置23は、コントローラ25によって制御されるように構成され、このコントローラ25では、例えば常態では高周波電源21からの高周波電力のみを上記サセプタ8に印加するように制御し、一定時間毎に低周波電源22からの低周波電力を上記高周波電源21からの高周波電力に所定時間加えて、周波数変調するように構成されている。

【0034】上記サセプタ8の上面には、被処理体である半導体ウエハWが直接載置されて吸引保持される、静電チャック31が設けられている。この静電チャック31は、例えば電界箔銅からなる導電層32を上下両側からポリイミド・フィルム等の絶縁体で挟んで接着した構成を有しており、上記処理室2外部に設けられている高圧直流電源33によって直流電圧が上記導電層32に印加されると、クーロン力によって上記半導体ウエハWは上記静電チャック31に吸引保持されるようになっている。

【0035】一方上記処理室2内の上部には、接地線41を介して電氣的に接地されている上部電極42が設けられている。この上部電極42は、例えばアモルファス・カーボンやSiC表面処理されたアルミなどからなる中空構造になっており、さらにこの上部電極42における上記半導体ウエハWとの対向面には多数のガス拡散孔

43が設けられている。そして上部電極42の上部中心には、処理ガス導入管44と通じているガス導入口45が設けられ、上記処理ガス導入管44から供給されるエッチングガスなどの処理ガスは、上記ガス導入口45から上記多数のガス拡散孔43を介して、上記半導体ウエハWに向けて均等に吐出されるように構成されている。

【0036】そして既述の上部電極42の上面には、これと近接して永久磁石46が配置されている。この永久磁石46は、例えばモータなどの駆動機構（図示せず）によって所望の回転速度で上記処理ガス導入管44をその回転中心軸として回転するように構成されており、前出静電チャック31上に載置される半導体ウエハWに対して、その表面にはほぼ均一な平行磁界、例えば10～1000Gの範囲の間の任意の値の磁界を形成することが可能になっている。

【0037】本実施例を実施するために使用したマグネトロンR I E装置1は以上のように構成されており、このマグネトロンR I E装置1によって半導体ウエハWに対してエッチングを行う場合について説明すると、まずエッチング処理対象となる半導体ウエハWは、このマグネトロンR I E装置1にゲートバルブ（図示せず）を介して設けられているロードロック室（図示せず）から処理室2内に搬入され、静電チャック31上に載置される。そして高圧直流電源33の印加によって上記半導体ウエハWは、この静電チャック31上に吸着保持される。

【0038】その後処理室2内は排気手段4によって排気されていき、また一方ガス導入口45からエッチング反応ガス、例えばCF<sub>4</sub>ガスが処理室2内に供給され、処理室2内の圧力は例えば10mTorrに設定、維持される。そして永久磁石46を回転駆動させて上記半導体ウエハW中心部付近で例えば100Gの磁場を形成するように磁界がかけられる。

【0039】一方コントローラ25の指示により、まず上記半導体ウエハWに対して高周波電源21から13.56MHzの高周波電力がそのままセプタ8に印加されて、処理室2内にはプラズマが発生し、シース層で加速された反応性イオンによる異方性エッチングが上記半導体ウエハWに対して行われる。

【0040】ところでこのまま上記13.56MHzの高周波によるエッチングを行っていると、図2に示したように、上記半導体ウエハW上には電位の傾斜が発生し、そのまま上記13.56MHzの高周波電力による印加を続けていくと、ついにはチャージアップによるデバイスの破壊が発生するおそれがある。

【0041】そこでそのようなチャージアップを未然に防止するため、上記コントローラ25の指示によって、低周波電源22からの低周波、例えば2MHzの低周波電力が変調装置24によって上記高周波電源21からの13.56MHzの高周波電力に加えられて周波数変調

される。

【0042】この場合、上記変調を加えるタイミングは、例えば半導体ウエハW上における上記チャージ電圧（図2におけるE）が10V付近に達したとき、好ましくは5Vのときに変調することが望ましい。一般的にこの種のチャージアップによるデバイス破壊は、10V以上になると発生する場合が多いからである。但し、この電圧はデバイスの構造によって異なるのは言うまでもない。したがってそれ以前の段階で上記のような2MHzの低周波電力による変調を加えれば、イオンの移動による中和が行われて、上記半導体ウエハW上にチャージはキャンセルされ、チャージアップによる破壊は未然に防止されるのである。

【0043】なお、そのように半導体ウエハW上における上記チャージ電圧が10Vや5Vに達した時点の判断は、例えばダミーウエハを用いて同一条件でエッチングした際の当該ダミーウエハ上のチャージ電圧を計測しておき、そのように10Vや5Vに達した時の時間をデータとして記録し、当該記録したデータを上記コントローラ25に記憶させ、それに基づいて変調させるようにしてもよい。そして一定時間そのように変調した後は、再び変調を停止して、上記高周波電源21からの13.56MHzの高周波電力の印加によってエッチングを継続させればよい。これらの制御はコントローラ25によって行われる。

【0044】以上のようにしてエッチング終了までに再び上記チャージ電圧が10Vや5Vに達した時に、再び変調装置23による変調を繰り返して行けばよい。このようにすることによって、被処理体である半導体ウエハWのチャージアップによるデバイス破壊は防止される。しかもチャージ電圧が10Vに達した時のみ低周波電力による変調が行われるので、プラズマ密度を殆ど低下させることはないので、エッチングレートが低下することはない。

【0045】なお上記第1の実施例においては高周波電源21と低周波電源22の2つの電源を使用していたが、周波数変調の場合には、1の電源装置を使用して、例えば上記コントローラ25の制御によって、周波数を適宜高周波と低周波に切り換えるようにしてもよい。

【0046】なお上記第1の実施例における変調装置23は、周波数変調を行うように構成されていたが、これに限らず振幅変調を行う変調装置を用いて、振幅変調による変調を行っても、上記と同様な効果が得られるものである。

【0047】また上記第1の実施例で使用したプラズマ処理装置は、マグネトロンR I E装置であったが、これに限らず本発明はプラズマ処理の際に被処理体上にチャージアップのおそれが生ずるような各種のプラズマ装置に対して適用可能である。

【0048】次に第2の実施例について説明する。図3



は、第2の実施例を実施するために用いられたプラズマエッチング装置51の断面を模式的に示しており、このプラズマエッチング装置51は、前出第1の実施例の際に用いたマグネトロンR I E装置1とは異なり、所謂平行平板型R I E装置として構成されている。

【0049】プラズマエッチング装置51は前出マグネトロンR I E装置1と同様、例えば表面が酸化アルマイト処理されたアルミニウムなどからなる円筒あるいは矩形状に成形された処理室52を有しており、この処理室52の底部にはセラミックなどの絶縁板3を介して、被

処理体、例えば半導体ウェハWを載置するための略円柱状のサセプタ支持台54が収容され、さらにこのサセプタ支持台54の上部には、下部電極を構成するサセプタ55が設けられている。

【0050】上記サセプタ支持台54の内部には、冷媒室56が設けられており、この冷媒室56には例えば液体窒素などの温度調節用の冷媒が冷媒導入管57を介して導入可能であり、導入された例えば液体窒素などの冷媒は同冷媒室56内を循環し、その間生ずる冷熱は冷媒室56からサセプタ55を介して半導体ウェハWに対し

て伝熱し、半導体ウェハWの処理面を所望する温度まで冷却することが可能である。なお、例えば液体窒素を冷媒として用いた場合、その核沸騰により生じた窒素ガスは冷媒排出管58より処理室52外へ排出される。

【0051】上記サセプタ55は、上端中央部が凸状の円板状に成形され、その中央には、前出マグネトロンR I E装置1と同様、装置被処理体である半導体ウェハWと略同形の静電チャック61が設けられ、2枚の高分子ポリイミド・フィルム間の導電層62に対して、処理室52外部に設置されている直流高圧電源63から、例え

ば1.5kVの直流高電圧を印加することによって、この静電チャック62上面に載置された半導体ウェハWは、その位置で吸着保持される。

【0052】上記サセプタ支持台54、サセプタ55並びに静電チャック61には、これらを貫通してHeなどの熱伝達ガスを半導体ウェハWの裏面に供給するためのガス通路64が形成されており、被処理体であるこの半導体ウェハWを所定の処理温度に設定、維持させることが可能なように構成されている。

【0053】上記サセプタ55の上端周縁部には、静電チャック61上に載置された半導体ウェハWを囲むように、環状のフォーカスリング65が配置されている。このフォーカスリング65は反応性イオンを引き寄せない絶縁性の材質からなり、プラズマによって発生した反応性イオンを、その内側の半導体ウェハWにだけ効果的に入射せしめるように構成されている。

【0054】上記サセプタ55の上方には、このサセプタ55と平行に対向して、これより約15~20mm程度離間させて位置に、接地線71によって接地された上部電極72が設けられており、例えばCF<sub>4</sub>などのエッ

チング反応ガスは、この上部電極72の中心に位置する処理ガス導入管73から、中空部74を経て、ガス拡散孔75より前記半導体ウェハWに対して、均等に吐出されるように構成されている。

【0055】上記処理室52の側壁下部には排気管76が接続されており、この処理室52内を、ターボ分子ポンプなどの排気手段（図示せず）によって真空引きできるように構成されるとともに、側壁中央部には開閉自在なゲートバルブ（図示せず）が設けられており、このゲートバルブを介して被処理体である半導体ウェハWは、搬送アームなどの搬送手段（図示せず）によって搬入搬出されるように構成されている。

【0056】そして前出サセプタ55には、ブロッキングコンデンサ77を介して、図4にその詳細が示されたパワーユニット81からの電力が印加されるように構成されている。このパワーユニット81は、基本波、例えば380kHzの周波数を持った正弦波を発振する基本波発振器G<sub>1</sub>並びに、前記基本波の整数倍の周波数の正弦波を発振する複数の発振器G<sub>2</sub>~G<sub>n</sub>から構成された発振装置Gと、前記各発振器G<sub>1</sub>~G<sub>n</sub>に各々対応して設けられた可変減衰器A<sub>1</sub>~A<sub>n</sub>から構成された減衰装置Aと、これら減衰装置Aにおける各可変減衰器A<sub>1</sub>~A<sub>n</sub>からの出力信号をミキシングするミキシング装置（又はコンバイン装置）82と、このミキシング装置82の出力信号を増幅するための広帯域周波数増幅装置83を有している。

【0057】前記各発振器G<sub>1</sub>~G<sub>n</sub>及び可変減衰器A<sub>1</sub>~A<sub>n</sub>は中央制御装置84によって制御され、各発振器G<sub>1</sub>~G<sub>n</sub>の中の任意の発振器が組み合わせられて作動し、さらに作動された各発振器の各減衰度がそれぞれ個別に調整されて、これらの各出力信号はミキシング装置82に入力されるように構成されている。そしてミキシング装置82に入力された各可変減衰器A<sub>1</sub>~A<sub>n</sub>からの各信号は合成され、さらに広帯域周波数増幅装置83によって増幅されて、プラズマ発生のためのパワーとして前出処理室52内のサセプタ55に印加されるようになってい

る。なお前記広帯域周波数増幅装置83には、レベル変更器85が別途設けられており、サセプタ55に印加する波形のレベルの変更を任意に調整することが可能である。

【0058】第2実施例を実施するためのプラズマエッチング装置51は以上のように構成されており、次にその動作等について説明すると、このプラズマエッチング装置51の場合も、被処理体である半導体ウェハWの処理室52内への基本的な搬入動作は前出第1の実施例で用いたマグネトロンR I E装置1と全く同様であり、まずゲートバルブ（図示せず）を介して設けられているロードロック室（図示せず）から処理室52内に搬入され、静電チャック61上に載置される。そして高圧直流電源63の印加によって上記半導体ウェハWは、この静

11

電チャック61上に吸着保持される。

【0059】その後処理室52内は排気手段によって排気されていき、また一方ガス拡散孔75からエッチング反応ガス、例えば $\text{CF}_4$ ガスが処理室52内に供給され、処理室52内の圧力は例えば10mTorrに設定、維持される。そしてパワーユニット81から所定の電力が前記サセプタ55に印加されて、上部電極72とサセプタ55間にプラズマを発生させて前記 $\text{CF}_4$ ガスを解離させ、被処理体である半導体ウエハWに対して所定のエッチング処理が施されるのであるが、前記パワー

ユニット81は、既述の如く図4に示された構成を有しているから、前記印加させる電力に対して周波数変調を行って、各エッチング処理に最も適した波形を創出させ、これによって前記した解離を制御することが可能である。

【0060】例えば半導体ウエハW表面にコンタクト・ホールを形成するための、 $\text{CF}_4$ を用いたシリコン酸化膜のエッチングを例にとりて説明すると、プラズマによって励起された $\text{CF}_4$ ガス分子は、プラズマ中において

は次のように多段階の解離を起こす。

【0061】即ち、 $\text{CF}_4$ は、

$\cdot \text{CF}_3 + \text{F} \cdot$

$\text{CF}_3 \cdot + \cdot \text{F}$

$\text{CF}_3^+ + \text{F}^-$

$\text{CF}_3^+ + \cdot \text{F} + \text{e}^-$

のように解離していき、 $\text{F}^-$ は、 $\text{F}^- \rightarrow \text{F}^+ + \text{e}^-$  となって、この $\text{F}^+$ （フッ素ラジカル）がウエハW表面の $\text{SiO}_2$ に対してエッチングを行う。

【0062】この点、単一の正弦波による従来の高密度プラズマによれば、前記した解離が最終段階まで進行してしまっ

て、フッ素ラジカルが過剰に生成されてしまい、保護ポリマー中にFが混入してエッチング耐性が低下し、Siに対する酸化膜の選択比が低下してしまっていた。

【0063】ところが前記したプラズマエッチング装置51のパワーユニット81によれば、周波数変調によって前記サセプタ55に印加させる電力の波形を任意のものにすることができ、目的に応じて最適の出力波形を得ることが可能である。例えば発振器 $G_1$ から基本波F（例えば380kHz）を発振させ、他の発振器 $G_2$ 以降の発振器からは、当該基本波Fの整数倍の周波数、例えば2倍波（760kHz）、3倍波（1140kHz）、4倍波（1520kHz）、・・・を発振させ、例えば図5に示したように、偶数倍波の出力については位相を180°ずらせ、奇数倍波についてはそのままの位相で、これらを各可変減衰器 $A_1 \sim A_n$ で調整して、ミキシング装置82で合成すれば、図6に示したような、ソウトゥース波（鋸歯状波）を得ることができる。

【0064】このソウトゥース波を処理室52のサセプタ55に印加させると、エッチャントイオンのイオンポ

12

ンバードを強くすることができ、エッチングレートを向上させることが可能である。なおこのような波形操作は、中央制御装置84及び図示されない周辺装置によって行うことが可能である。

【0065】さらにまた発振器 $G_1$ 並びに発振器 $G_3$ 、 $G_5$ 、 $G_7$ ・・・を作動させて基本波に対して、図7に示したように、奇数倍波のみ発振させてこれを合成して周波数変調させれば、図8に示したような矩形波を得ることができる。かかる矩形波をサセプタ55に印加してプラズマを発生させれば、そのパルス幅を制御することにより、反応ガスである前出 $\text{CF}_4$ ガスの解離を制御することが可能である。

【0066】例えばパルス幅を10μsec以下に設定することにより、 $\text{CF}_4$ ガス分子の解離を第2段目の $\text{CF}_3 \cdot + \cdot \text{F}$

の段階までに抑制することが可能である。従って、過剰なフッ素ラジカルの発生を抑制して、保護ポリマーのエッチング耐性を損ねることはなく、また解離を進行させないので、デポジションとなってエッチングを停止させるC（炭素）の生成も抑えることができる。それゆえ選択比の高いエッチング処理を行うことが可能である。

【0067】またさらに、図9に示したように、基本波Fの2倍波、7倍波、8倍波についてはそのままの位相にて適宜可変減衰器 $A_2$ 、 $A_7$ 、 $A_8$ でその出力調整をし、基本波Fの4倍波、5倍波については、各々位相を180°ずらせて可変減衰器 $A_4$ 、 $A_5$ でその出力調整して、これらを合成すれば、図10に示したように、パルス幅の狭いかつ非対称のパルス波を得ることができる。なお前記パワーユニット81においては、広帯域周波数増幅装置83にレベル変更器85が設けられているから、このレベル変更器85の作動によって、そのような非対称パルス波を得ることが可能である。

【0068】その他図11に示したように、奇数倍波のみ発振させ、かつそれらを交互に180°位相をずらせて周波数変調させることにより、図12に示したような、立ち上がり、立ち下がりが同時間のトライアングル波（三角波）を得ることができる。このトライアングル波によれば、エッチャントイオンを常に一定の加速度で入射させることが可能である。もちろん前述の波形に限らず、中央制御装置84による制御によって、他の波形を創出させることも可能である。

【0069】以上のように基本波に対してその整数倍波を適宜組み合わせることで周波数変調させることにより、既述の $\text{CF}_4$ ガス分子を始めとして、各種の反応性ガスのエッチャントイオンの種類、質量に応じてそのイオンボンバードの強弱を制御したり、さらにガス分子の解離を制御したりすることによって、エッチングレートを向上させて選択比の高いエッチング処理を被処理体に施すことが可能である。

【0070】このような周波数変調によって所望する所

定の波形を得るには、概ね基本波の7〜9倍波まで発振させればよいので、前出パワーユニット81に設ける発振器並びに対応する可変減衰器は、夫々発振器G<sub>1</sub>〜G<sub>10</sub>、可変減衰器A<sub>1</sub>〜A<sub>10</sub>程度の数を装置しておけば、実用上支障はない。また基本波に対して小電力で済むからレトロフィット改造に適し、コストも安価で実現可能である。

【0071】もちろんエッチャントイオンの加速を制御できるから、既述の第1の実施例で図った、ウエハW上のチャージアップもキャンセルさせることが可能である。

【0072】なお前出パワーユニット81において、ミキシング装置82と広帯域周波数増幅装置83との間に、例えば電圧制御フィルタやノッチフィルタを介在させて、フィルタのカットオフ周波数を変調させるようにしてもよい。この場合には、エッチャントの発生効率と載置台（下部電極）へのイオンの引き込み比率を可変できるという作用効果が得られる。

【0073】またさらに全体のDCバイアスを強制的に変化させる機構として、例えば高周波成分をカットした直流安定化電源を上部印加機構、又は下部印加機構のいずれか、あるいはその両方に設けてもよい。この場合には、エッチャントをウエハ上にフォーカスさせたり、発散させたりすることができるという作用効果が得られる。

【0074】前記パワーユニット81は、基本波に対してその整数倍波を発振させて、これらを適宜組み合わせる周波数変調を行う構成を採っていたが、かかる構成を有するパワーユニット81に代えて、図13に示したようなパワーユニット91を用いてもよい。

【0075】このパワーユニット91は、発振器として夫々工業用周波数や電波法適合周波数を有する複数、例えば4つの発振器K<sub>1</sub>〜K<sub>4</sub>を具備し、夫々例えば発振器K<sub>1</sub>は380kHz、発振器K<sub>2</sub>は13.56MHz、発振器K<sub>3</sub>は27.12MHz、発振器K<sub>4</sub>は40.68MHzの周波数の正弦波を出力する構成となっている。そして前記各発振器K<sub>1</sub>〜K<sub>4</sub>の出力は、夫々対応するタイミングゲートT<sub>1</sub>〜T<sub>4</sub>に入力される。これらタイミングゲートT<sub>1</sub>〜T<sub>4</sub>は、中央制御装置92の制御によって、ゲートを開閉するように構成され、いずれか1つのタイミングゲートのみが開放するようになっている。

【0076】また前記中央制御装置92には、前記タイミングゲートT<sub>1</sub>〜T<sub>4</sub>の開閉によって波形が切替わる際の位相を補正して、これを連続波とするための位相補正装置93が設けられている。そして前記各タイミングゲートT<sub>1</sub>〜T<sub>4</sub>の開閉によって出力された信号は、出力信号をミキシングするミキシング装置（又はコンバイン装置）94によって、1つの連続波となって、増幅装置95及びブロッキングコンデンサ77を介して、処理室52内のサセプタ55に印加されるように構成されてい

る。

【0077】かかる構成を有するパワーユニット91を使用すれば、例えば図14に示したような出力波形を持ったパワーをサセプタ55に印加させることが可能となる。即ち、同図に示された波形は、波形自体は全て正弦波であるが、例えば半周期又は1周期毎にその周波数が変化し、周波数の高低がかかる周期毎に実現されている。このような出力波形によれば、例えばエッチャントイオンの入射エネルギーを、極めて微細にコントロールすることができ、より高いレベルでのエッチング特性の制御が可能である。

【0078】このような周波数変調を行う場合、例えば1秒、2秒というように時間単位で変調する方式も考えられるが、既述の如く、かかるオーダーでの変調は、反応ガス分子の解離時間と較べて極めて大きいため、エッチングレートの低下は避けられない。ところが前記したように、これを周期単位で変調させることにより、解離反応を進行させない範囲で、エッチャントイオンの入射エネルギーを制御してそのイオンボンバードを調整し、エッチングレートを向上させることが可能である。従って、異方性の高いエッチング処理を実施することが可能となっている。しかも図14のグラフに示したように、途中でインターバルPを設定して電力の印加を停止させることも可能であり、より微細な制御が可能である。

【0079】またさらに前述のパワーユニット81、91に代えて、図15に示したパワーユニット101も提案できる。このパワーユニット101は、振幅変調を行うための構成を採っており、例えば13.56MHzの周波数を発信する高周波電源102と、この高周波電源102の出力波形における振幅を減衰するための可変減衰器103と、前記可変減衰器103を経た出力を増幅するための増幅器104と、整合器105とを有しており、この整合器105を経て前出処理室52内のサセプタ55に所定の高周波電力が印加されるように構成されている。

【0080】かかるパワーユニット101を用いて、例えば図16に示された振幅変調を行って、上部電極72とサセプタ55との間にプラズマを発生させると、次のようなプラズマ制御が可能である。まず同図のグラフで示された振幅変調は、この振幅変調によって変調された波形の頂点を結んだエンベロープと呼ばれる搬送波（図16中の破線で示される）Cが、略台形波を形成するように行われている。そしてこの搬送波Cにおける、例えば図中の立ち上がり部A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、平坦部S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>、S<sub>3</sub>、S<sub>4</sub>、立ち下がり部D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub>の時間が、いずれも10μsec.（秒）以下となるように設定されている。

【0081】このように振幅変調した際に得られる搬送波Cにおける少なくとも立ち上がり部と立ち下がり部が、各々10μsec.（秒）以下となる波形によって

処理室52内にプラズマを発生させて、被処理体である半導体ウエハWに対してエッチングを行うので、例えば前出のように反応ガスとしてCF<sub>4</sub>を用いた場合に即して説明すると、このCF<sub>4</sub>の解離を最終段階まで進めな

い、エッチャントイオンに入射エネルギーを加えることができ、エッチングレートを向上させることが可能である。

【0082】なお図16では、搬送波Cは略台形波であって、その波形特性がリニアとなるように振幅変調させたが、もちろんこれに限らず、被処理体のエッチング対象、エッチャントイオンの質量や種類に応じて、搬送波Cの波形並びに増幅度を定めればよい。例えば搬送波Cにおける立ち上がり部と立ち下がり部が、階段状となっているものでもよい。このような波形特性は、例えばA/D変換器を用いて、変調を加えることによって得られる。

【0083】さらにまたそのように振幅変調によって搬送波(エンベロープ)を構成する時点は、増幅プロセスにおける初段、中間段、終段のいずれであってもよい。但し、未だ出力が小さい、初段側の方が変調を加えやすい。なお変調以後の増幅にあたっては、交流入力

の全期間に渡って出力電流を生ずるように構成されたA級増幅モードが、出力の歪みが少ないので、より好ましい。

【0084】またかかるパワーユニット101を用いても、もちろん既述のチャージアップによる半導体ウエハW上のデバイス破壊を防止することが可能である。なお前記した各パワーユニット81、91、101が使用される処理装置は、平行平板型R I E装置であったが、これに限らず、例えば第1の実施例の際に使用した、マグネトロンR I E装置に対しても適用できる。さらに被処理体も既述の如き半導体ウエハに限らず、例えばLCD基板であってもよい。

【0085】

【発明の効果】請求項1によれば、プラズマ密度を殆ど低下させることなく、被処理体のチャージアップを防止して、当該チャージアップ現象によるデバイスの破壊を防止することが可能である。またそれを実現するための構成も極めて簡易であり、例えば既存のプラズマ処理装置に対して適用することができ、その際の変調方法も、周波数変調並びに請求項2、7に記載したような振幅変調の方式を採ることが可能である。

【0086】請求項3によれば、例えばプラズマエッチング処理する場合、ガス分子の解離進行を抑えたり、エッチャントイオンのイオン bombard を制御することが可能であり、その選択比を向上させて良好な異方性エッチングを実施することが可能である。

【0087】また請求項4によれば、任意の各種の波形、例えばパルス波を始めとして、ソウトゥース波(鋸歯状波)やトライアングル波(三角波)、ラム波(傾斜波)を容易に創出させることができるので、プラズマ

処理における解離段階をさらに細かく制御したり、イオン bombard の制御を行うことが可能である。従って、エッチングレートをより一層向上させることが可能である。

【0088】また請求項5では、これら請求項3、4のプラズマ処理方法において、より具体的に処理室内に導入された反応ガスが最終段階の解離を起こさないように、周波数変調の制御を行うように構成されているので、過剰なエッチャントイオンや不要な堆積物を生成することはなく、エッチング処理における選択比を向上させることができる。

【0089】さらに請求項6では、周波数信号を周期単位に分割して、周波数変調を加えようとしているので、周波数の高い部分で処理室内に導入された処理ガス分子の解離を促進させたり、あるいは周波数の低い部分でイオン bombard を大きくすることができ、しかも精緻な、精度の高い制御が可能となる。

【0090】また請求項7によれば、振幅変調に基づいて、処理室内のガス分子の解離の制御を行うことができ、また制御しやすいものとなっている。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例を実施する際に用いたマグネトロンR I E装置の側面の説明図である。

【図2】半導体ウエハがチャージアップされた様子を示す説明図である。

【図3】本発明の第2の実施例を実施する際に用いた平行平板型R I E装置の側面の説明図である。

【図4】図3の平行平板型R I E装置に使用されるパワーユニットの説明図である。

【図5】図4のパワーユニットを用いて周波数変調してソウトゥース波(鋸歯状波)を得る際の、基本波及び整数倍波のスペクトラムと増幅度との関係を示すグラフである。

【図6】図5に示された基本波及び整数倍波のスペクトラムと増幅度との関係によって周波数変調されて得たソウトゥース波(鋸歯状波)の波形を示すグラフである。

【図7】図4のパワーユニットを用いて周波数変調して対称矩形波を得る際の基本波及び整数倍波のスペクトラムと増幅度との関係を示すグラフである。

【図8】図7に示された基本波及び整数倍波のスペクトラムと増幅度との関係によって周波数変調されて得た矩形波の波形を示すグラフである。

【図9】図4のパワーユニットを用いて周波数変調して非対称矩形波を得る際の基本波及び整数倍波のスペクトラムと増幅度との関係を示すグラフである。

【図10】図9に示された基本波及び整数倍波のスペクトラムと増幅度との関係によって周波数変調されて得た非対称矩形波の波形を示すグラフである。

【図11】図4のパワーユニットを用いて周波数変調してトライアングル波(三角波)を得る際の基本波及び整

17

数倍波のスペクトラムと増幅度との関係を示すグラフである。

【図12】図11に示された基本波及び整数倍波のスペクトラムと増幅度との関係によって周波数変調されて得たトライアングル波（三角波）の波形を示すグラフである。

【図13】図3の平行平板型R I E装置に使用されるパワーユニットの他の例の説明図である。

【図14】図13に示されたパワーユニットを用いて周波数変調して得られた出力の波形を示すグラフである。

【図15】図3の平行平板型R I E装置に使用されるパワーユニットの他の例の説明図である。

【図16】図15に示されたパワーユニットを用いて振

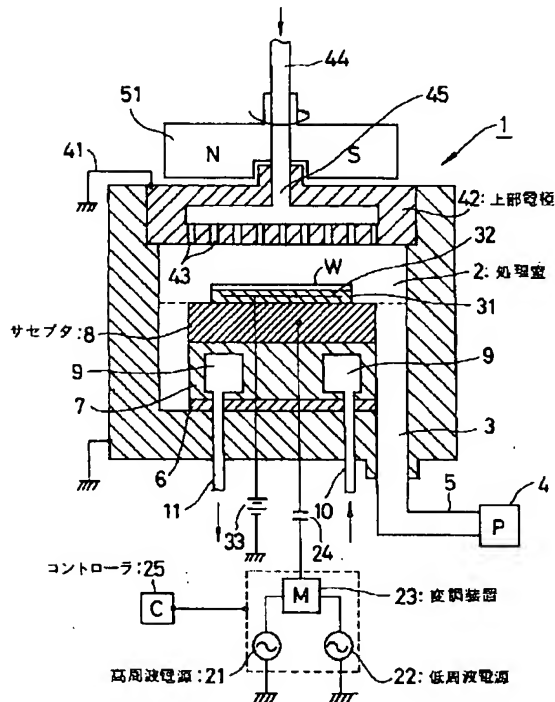
18

幅変調して得られた出力の波形を示すグラフである。

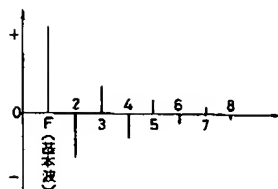
## 【符号の説明】

1	マグネトロンR I E装置
2	処理室
8	サセプタ
21	高周波電源
22	低周波電源
23	変調装置
25	コントローラ
42	上部電極
46	永久磁石
W	半導体ウエハ

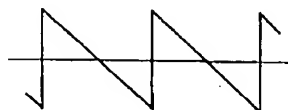
【図1】



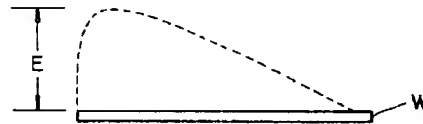
【図5】



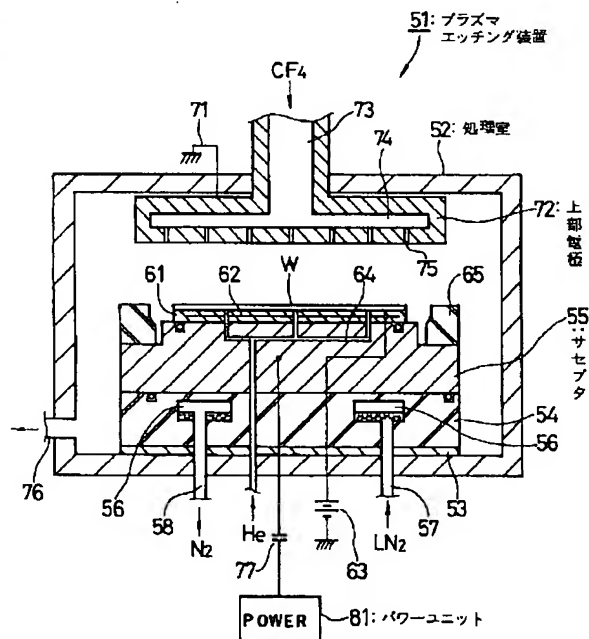
【図6】



【図2】



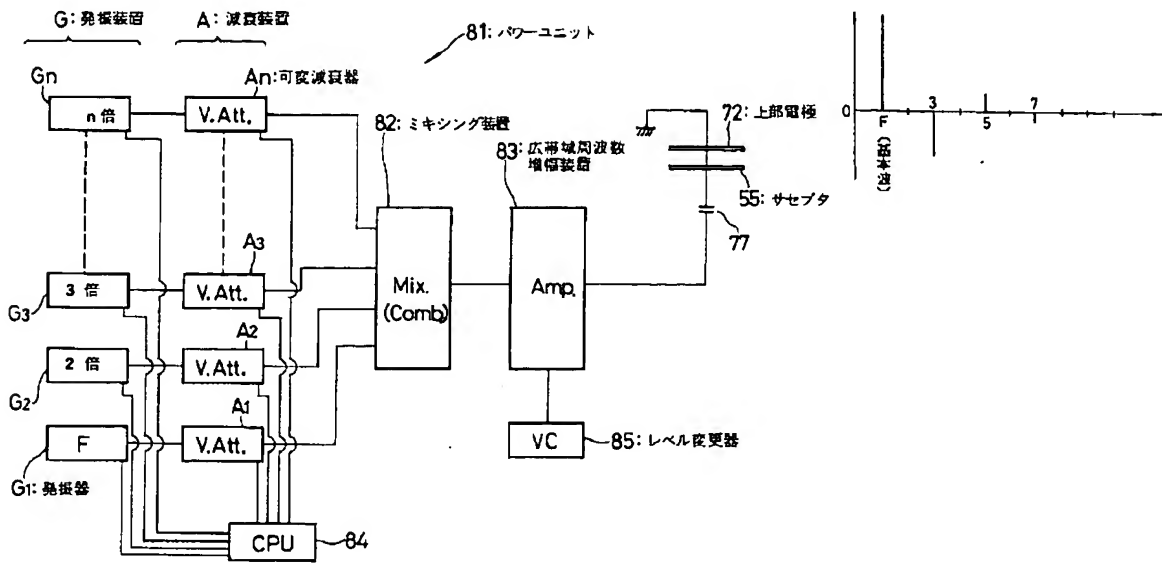
【図3】



【図8】

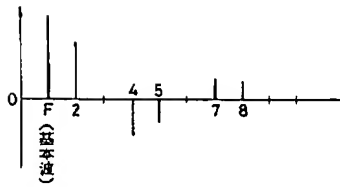


【図4】

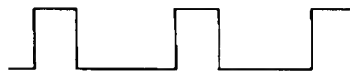


【図7】

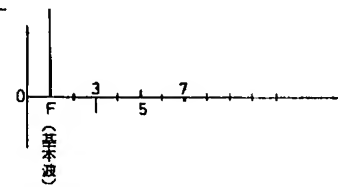
【図9】



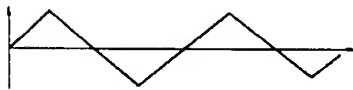
【図10】



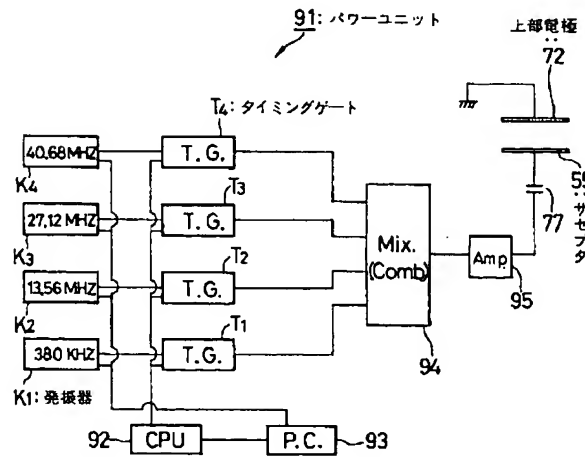
【図11】



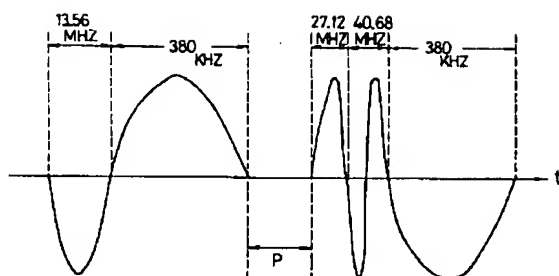
【図12】



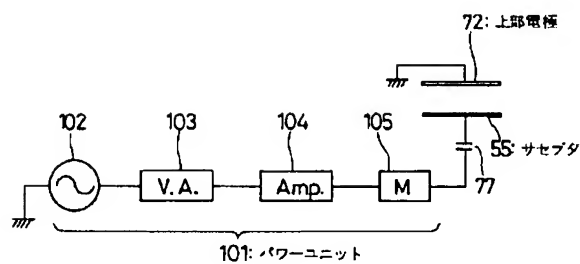
【図13】



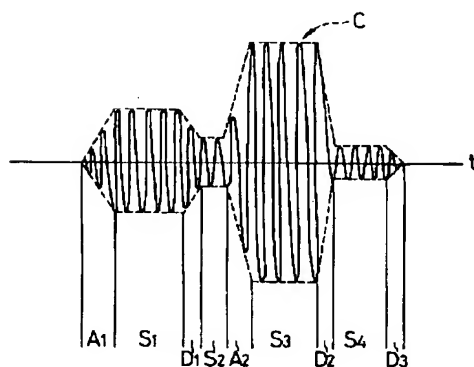
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 三田野 好伸  
東京都新宿区西新宿2丁目3番1号 東京  
エレクトロン株式会社内